

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-031537
(43)Date of publication of application : 28.01.2000

(51)Int.Cl.

H01L 33/00
H01L 21/205
H01S 5/323

(21)Application number : 11-122141

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRON CORP

(22)Date of filing : 28.04.1999

(72)Inventor : ISHIDA MASAHIRO
KONDO OSAMU
YURI MASAAKI
ITO KUNIO

(30)Priority

Priority number : 10123205 Priority date : 06.05.1998 Priority country : JP

(54) SEMICONDUCTOR DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve characteristic of a semiconductor device by reducing nitrogen vacancy in a semiconductor layer, in a semiconductor device using a semiconductor layer composed of nitride.

SOLUTION: A semiconductor layer 8 composed of GaN containing arsenic is formed on a substrate 7, and a semiconductor element which is an active element such as a field effect transistor and a bipolar transistor, or a passive element such as a capacitor and a resistor is formed on the semiconductor layer 8. Concerning quantities of nitrogen and arsenic contained in compound forming the semiconductor layer 8, quantity of nitrogen is made greater than that of arsenic.



(19)日本国特許庁 (JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-31537

(P2000-31537A)

(43)公開日 平成12年1月28日(2000.1.28)

(51)Int.Cl.⁷
 H 0 1 L 33/00
 21/205
 H 0 1 S 5/323

識別記号

F I
 H 0 1 L 33/00
 21/205
 H 0 1 S 3/18

テ-マ-ト⁷(参考)
 C
 6 7 3

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平11-122141
 (22)出願日 平成11年4月28日(1999.4.28)
 (31)優先権主張番号 特願平10-123205
 (32)優先日 平成10年5月6日(1998.5.6)
 (33)優先権主張国 日本 (JP)

(71)出願人 000005843
 松下電子工業株式会社
 大阪府高槻市幸町1番1号
 (72)発明者 石田 昌宏
 大阪府高槻市幸町1番1号 松下電子工業
 株式会社内
 (72)発明者 今藤 修
 大阪府高槻市幸町1番1号 松下電子工業
 株式会社内
 (74)代理人 100097445
 井理士 岩橋 文雄 (外2名)

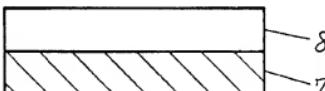
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体装置

(57)【要約】

【課題】 硅化物よりも半導体層を用いる半導体装置において、半導体層における空素ペーカンシを減少させて半導体装置の特性を向上させる。

【解決手段】 基板7の上に珪素を含むGaNよりなる半導体層8が形成され、この半導体層8の上に電解効果トランジスタやバイポーラトランジスタの能動素子またはコンデンサや抵抗等の受動素子の半導体素子が形成されたものである。ここで、半導体層8を形成する化合物に含まれる空素および珪素の量について、空素のほうが珪素よりも多くしてある。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムからなる群より選ばれた1つ以上の元素と、焼、砥素およびアンチモンからなる群より選ばれた1つ以上の元素と、窒素とからなる化合物よりなる半導体層を有する半導体装置であって、前記化合物中に含まれる焼、砥素およびアンチモンの原子数の総和が前記化合物中に含まれる窒素の原子数よりも小さいことを特徴とする半導体装置。

【請求項2】 前記化合物中に含まれる焼、砥素およびアンチモンの原子数の総和が前記化合物中に含まれる窒素の原子数の2.5%以下であることを特徴とする請求項1記載の半導体装置。

【請求項3】 前記半導体層の上に形成された半導体素子を有することを特徴とする請求項1記載の半導体装置。

【請求項4】 前記半導体層がAl_xGa_yIn_zN_{1-x-y-z}As₁またはAl_xGa_yIn_zN_{1-x-y-z}P₁(0≤x、y、z≤1、a+b+c=1)よりなることを特徴とする請求項1記載の半導体装置。

【請求項5】 基板と、前記基板の上に形成されたダブルヘテロ構造とを有し、前記ダブルヘテロ構造は前記基板側より形成された第1のクラッド層、活性層および第2のクラッド層を備え、かつ前記第1のクラッド層、前記活性層および前記第2のクラッド層のうちの少なくとも1層が、ホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムからなる群より選ばれた1つ以上の元素と、焼、砥素およびアンチモンからなる群より選ばれた1つ以上の元素と、窒素とからなる化合物により形成され、かつ前記化合物中に含まれる焼、砥素およびアンチモンの原子数の総和が前記化合物中に含まれる窒素の原子数よりも小さいことを特徴とする半導体装置。

【請求項6】 前記化合物中に含まれる焼、砥素およびアンチモンの原子数の総和が前記化合物中に含まれる窒素の原子数の2.5%以下であることを特徴とする請求項5記載の半導体装置。

【請求項7】 前記活性層が前記化合物より形成されたことを特徴とする請求項5記載の半導体装置。

【請求項8】 前記第1のクラッド層が第1導電型のAl_xGa_yIn_zN(0≤x≤1)よりなり、前記活性層がAl_xGa_yIn_zN_{1-x-y-z}As₁またはAl_xGa_yIn_zN_{1-x-y-z}P₁(0≤x、y、z≤1、a+b+c=1)よりなる層を少なくとも1層含み、かつ前記第2のクラッド層が、前記第1導電型とは反対の導電型を有する第2導電型のAl_xGa_yIn_zN(0≤x≤1)よりなることを特徴とする請求項5記載の半導体装置。

【請求項9】 前記第1のクラッド層が第1導電型のAl_xGa_yIn_zN(0≤x≤1)よりなり、前記活性層がAl_xGa_yIn_zN_{1-x-y-z}As₁またはAl_xGa_yIn_zN_{1-x-y-z}P₁(0≤x、y、z≤1、a+b+c=1)よりなる層を少なくとも1層含み、前記第2のクラッド層が、前記第1導電型とは反対の導電型を有する第2導電型のAl_xGa_yIn_zN(0≤x≤1)よりなることを特徴とする請求項5記載の半導体装置。

N_{1-x-y-z}P₁(0≤x、y、z≤1、0<z≤0.2、a+b+c=1)よりなる層を少なくとも1層含み、前記第2のクラッド層が前記第1導電型とは反対の導電型を有する第2導電型のAl_xGa_yIn_zN(0≤x≤1)よりなることを特徴とする請求項1記載の半導体装置。

N_{1-x-y-z}P₁(0≤x≤1、0<z≤0.2)よりなる電流ブロック層が形成され、前記電流ブロック層にはストライプ状の窓が形成され、前記ストライプ状の窓を含む前記電流ブロック層の上に第2導電型のAl_xGa_yIn_zN(0≤x≤1)よりなる第3のクラッド層が形成され、かつ0≤X1、X2、X3≤yの関係が成立することを特徴とする請求項5記載の半導体装置。

【請求項10】 前記ストライプ状の窓を含み、かつ前記活性層の主面に対して垂直な方向の実効屈折率をn₁、前記ストライプ状の窓を含まずかつ前記活性層の主面に対して垂直な方向の実効屈折率をn₂としたとき、n₂<n₁で、かつ3×10⁻⁴≤n₁-n₂≤8×10⁻⁴の関係が成立することを特徴とする請求項9記載の半導体装置。

【請求項11】 前記第2導電型がp型であり、前記活性層と前記第2のクラッド層との間に前記第2のクラッド層よりバンドギャップの大きな障壁層が挿入されたことを特徴とする請求項8または9記載の半導体装置。

【請求項12】 前記障壁層がAl_xGa_yIn_zN_{1-x-y-z}As₁またはAl_xGa_yIn_zN_{1-x-y-z}P₁(0≤x、y、z≤1、a+b+c=1)よりなることを特徴とする請求項1記載の半導体装置。

【請求項13】 前記第1導電型がp型であり、前記活性層と前記第1のクラッド層との間に前記第1のクラッド層よりバンドギャップの大きな障壁層が挿入されたことを特徴とする請求項8または9記載の半導体装置。

【請求項14】 前記障壁層がAl_xGa_yIn_zN_{1-x-y-z}As₁またはAl_xGa_yIn_zN_{1-x-y-z}P₁(0≤x、y、z≤1、a+b+c=1)よりなることを特徴とする請求項13記載の半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、発光ダイオードや半導体レーザ等の発光装置、およびトランジスタ等の電子を含む半導体装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】GaN、InN、AlN等の窒素化合物(以下、窒化物と記す)半導体は、高密度光情報記録装置等に用いられる紫色半導体レーザ装置や、紫色、青色、緑色等の光を放射する可視光発光ダイオード材料と

して好適である。

【0003】図13には従来の窒化物半導体を用いた発光素子(特開平9-153642号公報)を示し、これをお参照して説明する。

【0004】この従来の半導体装置は、サファイア基板1の上に多結晶またはアモルファスのGaNバッファ層2、n型(以降n-と記す)GaNクラッド層3、InGaN活性層4、p型(以降p-と記す)GaNクラッド層5、p-GaNコンタクト層6が順次積層されたものである。

【0005】窒化物半導体では、InGaNはGaNよりもバンドギャップが小さく、AlGaNはGaNよりもバンドギャップが大きいため、発光素子はInGaNを活性層とし、AlGaNをクラッド層とする構成となっている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】このような従来の半導体装置には、以下に示す2つの課題があった。

【0007】すなわち、窒化物半導体の窒素の蒸気圧が高いため、窒化物半導体層を形成したときに窒素のベーカンシ(空孔、以下窒素ベーカンシという)が生じやすく、各成長層に 10^{11} cm^{-3} 程度の窒素ベーカンシが発生し、これが欠陥の種となって深い準位を作り発光を吸収し、半導体装置の発光効率が低下するという課題があつた。

【0008】また、InGaNの格子定数がGaNの格子定数よりも大きいため、InGaN活性層が歪みを受け、ビエゾ効果によりInGaN活性層内に内部電界を生じ、この内部電界により電子と正孔が互いに反対方向の力を受けて互いに活性層中の反対側に集中して分布し、その結果、活性層中の電子と正孔の結合確率が低下して半導体装置の発光効率を低下させる。そのため半導体装置の特性を悪化させ、動作電流を増大させ、かつ信頼性を悪化させるという課題があつた。

【0009】本発明は以上のような事情を鑑みてなされたものであり、窒化物半導体を用いる半導体装置において、その各層における窒素ベーカンシの個数を低減させ、かつ各層にかかる歪によるビエゾ効果を緩和して低動作電流で高信頼性を有する半導体装置を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体装置は、基板と、前記基板の上に形成された半導体層とを有し、前記半導体層はホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムからなる群より選ばれた1つ以上の元素と、焼、研素およびアンチモンからなる群より選ばれた1つ以上の元素と、窒素とからなる化合物よりなり、前記化合物中に含まれる窒素の原子数の総和が前記化合物中に含まれる窒素の原子数よりも小さいものである。

【0011】この構成により、焼、研素およびアンチモンは同一温度における平衡蒸気圧が窒素より低いので、半導体層を高温で成長させるととき半導体層中に発生する窒素ベーカンシを焼、研素およびアンチモンのいずれかによって埋めることができ、窒素ベーカンシのはほとんどない半導体層を有する半導体装置が得られる。

【0012】本発明の半導体装置は、かかる構成につき、前記化合物中に含まれる焼、研素およびアンチモンの原子数の総和が前記化合物中に含まれる窒素の原子数

の2.5%以下であるものである。

【0013】この構成により、半導体層のバンドギャップの低下を抑えることができて半導体装置の発光効率を向上させることができる。

【0014】本発明の半導体装置は、かかる構成につき、半導体層の上に形成された半導体素子を有するものである。

【0015】この構成により、半導体素子が窒素ベーカンシのはほとんどない半導体層の上に形成されているので、動作の安定した半導体装置が得られる。

【0016】本発明の半導体装置は、基板と、前記基板の上に形成されたダブルヘテロ構造とを有し、前記ダブルヘテロ構造は前記基板側より形成された第1のクラッド層、活性層および第2のクラッド層を備え、かつ前記第1のクラッド層、前記活性層および前記第2のクラッド層のうちの少なくとも1層が、ホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムからなる群より選ばれた1つ以上の元素と、焼、研素およびアンチモンからなる群より選ばれた1つ以上の元素と、窒素とからなる化合物より形成され、かつ前記化合物中に含まれる焼、研素およびアンチモンの原子数の総和が前記化合物中に含まれる窒素の原子数よりも小さいものである。

【0017】この構成により、焼、研素およびアンチモンは同一温度における平衡蒸気圧が窒素より低いので、半導体層を高温で成長させるととき、半導体層中に発生する窒素ベーカンシを焼、研素またはアンチモンのいずれかによって埋めることができ、ダブルヘテロ構造のすべての層に用いるならば第1または第2のクラッド層中に深い準位をほとんど消滅させることができるとともに、活性層中に欠陥をほとんど発生させないので、高効率高信頼性の半導体装置が得られる。

【0018】本発明の半導体装置は、かかる構成につき、前記化合物中に含まれる焼、研素およびアンチモンの原子数の総和が前記化合物中に含まれる窒素の原子数の2.5%以下であるものである。

【0019】この構成により、半導体層のバンドギャップの低下を抑えることができて半導体装置の発光効率を向上させることができる。

【0020】本発明の半導体装置は、かかる構成につき、活性層が前記化合物より形成されたものである。

【0021】この構成により、活性層中の窒素ベーカン

シを構、砒素およびアンチモンのいずれかによって埋めることができるので、活性層中の窒素ベーカンシをほとんど発生させないとともに活性層内部の電界を緩和して半導体装置の発光効率を向上させることができる。

【0022】本発明の半導体装置は、かかる構成につき、第1のクラッド層が第1導電型のA₁, Ga_{1-x}N_x(0≤x≤1)よりなり、前記活性層がA₁, Ga₁n_x, As_xまたはA₁, Ga₁n_x, N_{1-x}, P_x(0≤x≤1, c≤1, 0<z≤0.2, a+b+c=1)よりなる層を少なくとも1層含み、かつ前記第2のクラッド層が、前記第1導電型とは反対の導電型を有する第2導電型のA₁, Ga_{1-x}N_x(0≤x≤1)よりなるものである。

【0023】この構成により、活性層中の窒素ベーカンシを砒素または磷によって埋めることができるので、活性層中に窒素ベーカンシをほとんど発生させないとともに、砒素または磷は、窒素に比べて電気陰性度等の性質がA₁, Ga₁またはIn_xに近いので、活性層におけるビゾ電界をほとんど生じさせることができなく、活性層内部の電界をいっそ緩和することができて半導体装置の発光効率を向上させることができる。

【0024】本発明の半導体装置は、かかる構成につき、第1のクラッド層が第1導電型のA₁, Ga_{1-x}N_x(0≤x≤1)よりなり、前記活性層がA₁, Ga₁n_x, As_xまたはA₁, Ga₁n_x, N_{1-x}, P_x(0≤x≤1, c≤1, 0<z≤0.2, a+b+c=1)よりなる層を少なくとも1層含み、前記第2のクラッド層が前記第1導電型とは反対の導電型を有する第2導電型のA₁, Ga_{1-x}N_x(0≤x≤1)よりなるとともに、さらに前記第2のクラッド層の上に、前記活性層より放射される光のエネルギーよりも大きなバンドギャップを有し、かつ第1導電型または高抵抗のA₁, Ga_{1-x}N_x, As_xまたはA₁, Ga₁n_x, N_{1-x}, P_x(0≤x≤1, 0<z≤0.2)よりなる電流ブロック層が形成され、前記電流ブロック層にはストライプ状の窓が形成され、前記ストライプ状の窓を含む前記電流ブロック層の上に第2導電型のA₁, Ga_{1-x}N_x(0≤x≤1)よりなる第3のクラッド層が形成され、かつ0≤X₁×X₂×X₃≤yの関係が成立するものである。

【0025】この構成により、活性層と電流ブロック層中の窒素ベーカンシを砒素または磷によって埋めることができるので、無効電流を低減し低動作電流、高効率の半導体装置が得られる。

【0026】本発明の半導体装置は、かかる構成につき、前記ストライプ状の窓を含み、かつ前記活性層の正面に対して垂直な方向の実効屈折率をn₁、前記ストライプ状の窓を含ますかつ前記活性層の正面に対して垂直な方向の実効屈折率をn₂としたとき、n₂<n₁で、かつ3×10⁻¹≤n₁-n₂≤8×10⁻²の関係が成立するものである。

【0027】この構成により、5μm以下の非点隙差が得られるとともに高次モードをカットオフし、特に高出力動作において、空間的ホールバーニングを抑制して安定な横モードを有する半導体装置が得られる。

【0028】本発明の半導体装置は、かかる構成につき、第2導電型がp型であり、活性層と第2のクラッド層との間に第2のクラッド層よりバンドギャップの大きな障壁層が挿入されたものである。

【0029】この構成により、第2のクラッド層よりバンドギャップの大きな障壁層を活性層と第2のクラッド層との間に設けているので、活性層から第2のクラッド層へのキャリアの拡散を抑制することができ、半導体装置の発光効率を増大させることができる。

【0030】本発明の半導体装置は、かかる構成につき、障壁層がA₁, Ga₁n_x, N_{1-x}, As_xまたはA₁, Ga₁n_x, N_{1-x}, P_x(0≤x≤1, b₁, c₁≤1, 0<z≤0.2, a₁+b₁+c₁=1)によるものである。

【0031】この構成により、障壁層中の窒素ベーカンシを砒素または磷によって埋めることができるので、さらに発光効率を向上させることができる。

【0032】本発明の半導体装置は、かかる構成につき、第1導電型がp型であり、活性層と第1のクラッド層との間に第1のクラッド層よりバンドギャップの大きな障壁層が挿入されたものである。

【0033】この構成により、第1のクラッド層よりバンドギャップの大きな障壁層を活性層と第1のクラッド層との間に設けているので、活性層から第1のクラッド層へのキャリアの拡散を抑制することができ、半導体装置の発光効率を増大させることができる。

【0034】本発明の半導体装置は、かかる構成につき、障壁層がA₁, Ga₁n_x, N_{1-x}, As_xまたはA₁, Ga₁n_x, N_{1-x}, P_x(0≤x≤1, b₁, c₁≤1, 0<z≤0.2, a₁+b₁+c₁=1)によるものである。

【0035】この構成により、障壁層中の窒素ベーカンシを砒素または磷によって埋めることができるので、さらに発光効率を向上させることができる。

【0036】【発明の実施の形態】(実施の形態1)図1は、本発明の第1の実施の形態における半導体装置の断面図である。

【0037】この構造は、サファイア等の基板7の上に砒素を含むGaN(以下GaN(As)と記す)よりなる半導体層8が形成され、この半導体層8の上に電解効果トランジスタやバイポーラトランジスタの能動素子またはコンデンサや抵抗等の受動素子の半導体素子(図示せず)が形成されたものである。ここで、半導体層8を形成する化合物に含まれる窒素および砒素の量について

【0038】この構造により、砥素は同一温度における平衡蒸気圧が窒素より低いので、GaN (As) を高温で成長させたとき、半導体層8中に発生する窒素ベーカンシを砥素によって埋めることができ、窒素ベーカンシのはとんどない半導体層8を有する半導体装置が得られ、高温下において半導体装置の動作を安定にさせることができて半導体装置の信頼性を向上させることができる。

【0039】なお、半導体層8に含まれる砥素の量は、窒素ベーカンシを埋める程度より少し多い程度であればよい。

【0040】また、半導体層8に砥素を含む代わりに、焼またはアンチモンのいすれかを含めてもよいし、または焼、砥素およびアンチモンのうちの2つ以上の元素を半導体層8に含ませても同様の効果が得られる。

【0041】さらに、半導体層8にホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムのうちのいすれか1つ以上の元素を含んでも同様の効果が得られる。

【0042】(実施の形態2) 図2は、本発明の第2の実施の形態における半導体レーザ装置の断面図である。

【0043】この構造は、サファイア基板9の上にGaN (As) のバッファ層10とn-GaN (As) のコンタクト層11が形成され、その上にSiドープのn-Ga_{1-x}Al_xN (As) の第1のクラッド層12、アンドープのIn_xGa_{1-x}N (As) / In_xGa_{1-x}N (As) の量子井戸構造の活性層13およびMgドープのp-GaN (As) のコンタクト層15が形成されたものである。ここで、バッファ層10、コンタクト層11、n型の第1のクラッド層12、活性層13、p型の第2のクラッド層14およびコンタクト層15を形成する化合物に含まれる窒素および砥素の量について、窒素のほうが砥素よりも多くしてある。

【0044】この構造により、n型の第1のクラッド層12、活性層13、p型の第2のクラッド層14およびコンタクト層15に砥素が含まれており、砥素は同一温度における平衡蒸気圧が窒素より低いので、これら半導体層中に存在する窒素ベーカンシを砥素によって埋めることができ、n型の第1のクラッド層12およびp型の第2のクラッド層14における深い準位をほとんど消滅させることができるとともに、窒素ベーカンシのはとんどない活性層13を有する半導体レーザ装置が得られ、高効率かつ高信頼性の半導体装置を得ることができる。

【0045】なお、バッファ層10、コンタクト層11、n型の第1のクラッド層12、活性層13、p型の第2のクラッド層14およびコンタクト層15のうちの少なくとも1層に砥素を含む代わりに、焼またはアンチモンのいすれかを含めてもよいし、または焼、砥素およびアンチモンのうちの2つ以上の元素を含ませても同様

の効果が得られる。

【0046】また、バッファ層10、コンタクト層11、n型の第1のクラッド層12、活性層13、p型の第2のクラッド層14およびコンタクト層15のうちの少なくとも1層にホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムのうちのいすれか1つ以上の元素を含んで同様の効果が得られる。

【0047】次に、この半導体レーザ装置の製造方法を、図3を用いて説明する。まず、サファイア基板9の

上に有機金属化学気相成長(MOCVD)法により、成長用原料として、トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウム、トリメチルインジウム、アンモニア、アルシン (As H) を用いてn-GaN (As) のバッファ層10を製造する(図3(a))。

【0048】次に、コンタクト層11としてn-GaN (As) を1000°Cの結晶成長温度(以下成長温度といふ)にて1μmの厚さに結晶成長させる。この際の砥素の添加量は、成長温度が1000°Cにおける窒素ベーカンシが約10¹¹ cm⁻³であるので、約10¹¹ cm⁻³程度にすればよい(図3(b))。

【0049】その後、1000°Cの成長温度でSiドープn-Ga_{1-x}Al_xN (As) の第1のクラッド層12を0.5μmの厚さに成長させ、次に成長温度を800°Cに下げて活性層13となるアンドープのIn_xGa_{1-x}N (As) / In_xGa_{1-x}N (As) の量子井戸構造の活性層13(各層の厚さを5nmとして、3重量子井戸構造とする)を成長させ、再び成長温度を1000°Cに上げて、Mgドープp-Ga_{1-x}Al_xN (As) の第2のクラッド層14を0.5μmの厚さに成長させる。

【0050】最後にMgドープのp-GaN (As) コンタクト層15を0.1μmの厚さに成長させることにより半導体レーザ装置が完成する(図3(c))。

【0051】なお、GaNについて、成長温度600°C、800°Cおよび1000°Cのとき窒素ベーカンシの密度はそれぞれ約10¹¹ cm⁻³、約10¹¹ cm⁻³および約10¹¹ cm⁻³であるので、それらの値に対応する量の砥素を添加すれば窒素ベーカンシを埋めることができます。

【0052】上記第1および第2の実施の形態において、半導体装置または半導体レーザ装置に窒素ベーカンシのはとんどないGaN (As) よりなる層を用いることにより高効率かつ高信頼性の半導体装置または半導体レーザ装置を得ることができることを説明した。この窒素ベーカンシのはとんどないGaN (As) よりなる層は、トランジスタを構成する層として用いることが可能であり、そのような場合、高周波領域におけるトランジスタの特性を向上させることができて高効率かつ高信頼性のトランジスタを得ることができる。

【0053】(実施の形態3) 図4は、本発明の第3の

実施の形態における青色発光ダイオード装置の断面図である。

【0054】この構造は、 $n-GaN$ 基板16の上に厚さ1μmの $n-GaN$ 層17、厚さ0.5μmの $n-A_{1-x}Ga_xN$ よりなる第1のクラッド層18、厚さ10nmのアンドープ $A_{1-x}Ga_xN_{z-x}Al_{x-z}As$ (0<z≤0.2)よりなる活性層19、厚さ0.5μmの $p-A_{1-x}Ga_xN$ よりなる第2のクラッド層20、厚さ0.1μmの $p-GaN$ よりなるコンタクト層21が形成されたものである。

【0055】この構造により、活性層19中の窒素ペーカンシを砥素によって埋めることができるので、活性層19中に窒素ペーカンシをほとんど発生させないとともに活性層19内部の電界を緩和して青色発光ダイオード装置の発光効率を向上させることができる。特に砥素は、窒素に比べて電気陰性度等の性質が A_1 、 Ga または In に近いので、活性層19におけるビエゾ電界をほとんど生じさせることができなく、青色発光ダイオード装置の発光効率を向上させることができる。さらに活性層19に窒素および砥素のうち、砥素の占める割合は窒素の占める割合の2.5%以下であるので、活性層19のバンドギャップの低下を抑えることができて青色発光ダイオード装置の発光効率を向上させることができる。

【0056】この青色発光ダイオード装置の製造方法として、第2の実施の形態と同様のMOCVD法を用いる。なお、 $n-GaN$ 層17は $n-GaN$ 基板16の上に結晶性のよい活性層19を形成するため導入されたものであり、また、コンタクト層21は、 p 型側の電極のコンタクト抵抗を低減するために導入されたものである。

【0057】活性層19における A_s の組成比 z と青色発光ダイオード装置の発光効率との関係を図5に示す。なお、 $z=0$ のときの発光効率の値を1とし、この $z=0$ は従来の青色発光ダイオード装置の場合を表す。

【0058】図5によると、 $0 < z \leq 0.2$ の範囲で従来よりも発光効率が向上したことがわかる。より詳しくは、 $0 < z \leq 0.001$ において発光効率が上昇しているのは、 A_s が N のペーカンシに導入されることにより、発光を吸収する準位が減少するためであると考えられる。 $z=0.001$ 付近で発光効率の向上が一旦飽和する。それより高い領域で再び発光効率が向上しているが、これは A_s の導入によりビエゾ効果が緩和されるためであると考えられる。この理由は、 A_s が N に比べて電気陰性度等の性質が A_1 や Ga や In に近いので、ビエゾ電界がほとんど生じないためである。なお、 $0.1 < z$ の領域では青色発光ダイオード装置の発光効率が減少し、さらに $0.2 < z$ の領域では発光効率が従来以下となることがわかる。これは、活性層19のバンドギャップが0.1< z <0.2、特に0.2< z の領域で急激に小さくなり、金属的な性質を示すためであると考えられる。なお、砥素や N の代わりにアンチモンを用いても図5とほぼ同様の結果となった。

【0059】(実施の形態4) 本発明の第4の実施の形態における青色発光ダイオード装置は、前記第3の実施の形態における半導体装置の活性層19を、厚さ10nmの $A_{1-x}Ga_xN_{z-x}In_{x-z}P_z$ ($0 < z \leq 0.2$)層でおきかえたものである。また、成長用原料にはアルシンに代えてホスフィン(PH_3)を用いた。

【0060】この構造により、活性層19中の窒素ペーカンシを構によって埋めることができるので、活性層19に窒素ペーカンシをほとんど発生させないとともに活性層19内部の電界を緩和して青色発光ダイオード装置の発光効率を向上させることができる。特に構は、窒素に比べて電気陰性度等の性質が A_1 、 Ga または In に近いので、活性層19におけるビエゾ電界をほとんど生じさせることができなく、青色発光ダイオード装置の発光効率を向上させることができる。さらに活性層19に窒素および構のうち、構の占める割合は窒素の占める割合の2.5%以下であるので、活性層19のバンドギャップの低下を抑えることができて青色発光ダイオード装置の発光効率を向上させることができる。

【0061】活性層19における P 組成比 z と青色発光ダイオード装置の発光効率との関係は、図5とほぼ同様な結果になり、構を用いた場合でも発光効率の向上が図れることがわかった。なお、 $0.1 < z$ の領域では青色発光ダイオード装置の発光効率が減少し、さらに $0.2 < z$ の領域では発光効率が従来以下となることがわかった。これは、活性層19のバンドギャップが0.1< z <0.2、特に0.2< z の領域で急激に小さくなり、金属的な性質を示すためであると考えられる。なお、砥素や N の代わりにアンチモンを用いても図5とほぼ同様の結果となった。

【0062】(実施の形態5) 図6は、本発明の第5の実施の形態に係る半導体レーザ装置の断面図である。

【0063】この構造は、 $n-GaN$ 基板16上に、厚さ1μmの $n-GaN$ 層17、厚さ0.5μmの $n-A_{1-x}Ga_xN$ よりなる第1のクラッド層22、活性層23、厚さ0.2μmの $p-A_{1-x}Ga_xN_{z-x}Al_{x-z}As$ よりなる第2のクラッド層24が形成され、第2のクラッド層24の上に厚さ0.5μmの $n-A_{1-x}Ga_xN_{z-x}Al_{x-z}As$ よりなる第3のクラッド層25が形成され、第3のクラッド層25の上に $p-GaN$ よりなるコンタクト層21が形成されたものである。活性層23は、厚さ5nmの $A_{1-x}Ga_xN_{z-x}In_{x-z}N_{z-x}As_{z-x}$ よりなる障壁層と厚さ3nmの $A_{1-x}Ga_xN_{z-x}In_{x-z}N_{z-x}As_{z-x}$ よりなる井戸層により構成された3重量子井戸層である。ストラップイット状の窓26は電流狭窄のために設けられており、そ

の幅wは3 μmである。また、共振器の長さは1 mmで、基板を劈開することにより共振器を形成している。【0064】この構造により、活性層23と電流ブロック層25中の窒素ペーカンシを基素によって埋めることができるので、半導体レーザ装置の無効電流を低減し、低動作電流、高効率の半導体レーザ装置が得られる。

【0065】この第5の実施の形態における半導体レーザ装置について、窓26を含む活性層23の正面に対し垂直方向の実効屈折率をn1、窓26を含まない活性層23の正面に対し垂直方向の実効屈折率をn2としたとき、 $n_1 - n_2 = \Delta n$ の値は、 $\Delta n = 5.75 \times 10^{-3}$ であった。

【0066】この第5の実施の形態に係る本発明の半導体レーザ装置の電流-光出力特性と従来の半導体レーザの電流-光出力特性とを比較した結果を図7に示す。図7において、曲線Aが本発明の半導体レーザ装置の電流-光出力特性を、曲線Bが従来の半導体レーザ装置の電流-光出力特性をそれぞれ表す。ここで、従来の半導体レーザ装置は、活性層23および電流ブロック層25に埋素を含まないものである。すなわち活性層23は、厚さ5 nmのAl_{0.1}G_{0.9}, In_{0.2}Nによる障壁層と厚さ3 nmのAl_{0.1}, Ga_{0.8}, In_{0.1}Nによる井戸層により構成された3重量子井戸層であり、電流ブロック層25はn-Al_{0.1}, Ga_{0.9}, Nによるものである。

【0067】図7より、本発明の半導体レーザ装置は従来の半導体レーザ装置よりも閾値電流が小さく、かつ量子効率がよいことがわかる。これは、次の3つの理由からであると考えられる。

【0068】すなわち、第2のクラッド層24および第3のクラッド層27よりもA1組成比の大きい、すなわちバンドギャップの大きい電流ブロック層25を設けたことにより、電流ブロック層25において光がほとんど吸収されず、かつ無効電流が小さくなつたためであると考えられる。特に、電流ブロック層25に埋素が導入されているので、電流ブロック層25中に窒素ペーカンシがほとんど存在せず、電流ブロック層25において光がいっそう吸収されなくなつたことも考えられる。

【0069】また、本発明の半導体レーザ装置は活性層23に埋素が導入されたことにより、活性層23中に窒素ペーカンシがほとんど存在しないとともに活性層23内部の電界を緩和して半導体レーザ装置の発光効率が向上し、従来の半導体レーザ装置よりも動作電流が低減したためであると考えられる。

【0070】本発明の半導体レーザ装置のビーム形状を測定したことろ、単峰性のビーム形状が得られた。これは、第2のクラッド層24および第3のクラッド層27よりもバンドギャップの大きい電流ブロック層25を設け、 $n < n_1$ とすることにより窓26の部分における光閉じ込めの効果が向上したものと考えられる。

【0071】なお、電流ブロック層25のA1組成比を第3のクラッド層27のA1組成比よりも高く設定するのがよい。電流ブロック層25のA1組成比が第3のクラッド層27のA1組成比と同様または低い場合は、電流注入時のプラズマ効果によりn1の値が低下してアンチガイド型の導波機構となり、単一モード特性が得られなくなることがある。

【0072】この第5の実施の形態に係る本発明の半導体レーザ装置に関する非点隔差と光出力との関係を図8に示す。

【0073】図8より、1 mW以上の光出力で1 μm以下の非点隔差が得られており、光ディスクシステムの光源として必要な基本特性を備えた半導体レーザ装置が実現されていることがわかった。

【0074】この第5の実施の形態に係る本発明の半導体レーザ装置に関する△nと非点隔差との関係を図9に示す。なお、△nの調整は、電流ブロック層25のA1組成比、第2のクラッド層24のA1組成比および膜厚、第3のクラッド層27のA1組成比を変更するだけで、活性層23その他の構成は上記と全く同じ構成にして実現することができる。

【0075】図9によれば、 $\Delta n < 3 \times 10^{-3}$ になると非点隔差が5 μmよりも大きくなることから、光ディスクシステムの光源として必要な5 μm以下の非点隔差を実現するためには、 $\Delta n > 3 \times 10^{-3}$ 以上とすればよいことがわかった。

【0076】第2のクラッド層24の膜厚をバラメータとして窓26の幅を変化させたときの閾値電流の変化を図10に示す。ここで、窓26の幅とは、図6に示した窓26における最小の幅wのことをいう。また、図10において、第2のクラッド層24の膜厚が0.1 μm、0.15 μm、0.2 μmおよび0.25 μmのときの曲線をそれぞれC、D、EおよびFと表す。

【0077】図10より、閾値電流が最小となるような窓26の幅は、第2のクラッド層24の膜厚が0.1～0.25 μmの範囲では1.5～2.3 μmであることがわかった。なお、第2のクラッド層24の膜厚をあまり大きくすると無効電流が増加し、閾値電流および動作電流の増大を招くので、第2のクラッド層24の膜厚として0.2 μm以下であればよい。

【0078】なお、この第5の実施の形態において、 $\Delta n \leq 8 \times 10^{-3}$ であればよい。そのようにすれば、高次モードをカットオフし、特に高出力動作時において、空間的ホールバーニングを抑制して安定な横モード特性を有する半導体レーザ装置を得ることができる。

【0079】また、△nの調整を、電流ブロック層25のA1組成比、第2のクラッド層24のA1組成比、第3のクラッド層27のA1組成比等を変化させることによって行つても同様の効果が得られる。

【0080】さらに、ストライプ領域の電流ブロック層

25の形状は、窓26に対して対称であればよい。電流プロック層25の形状が窓26に対して対称であれば安定な構モード特性を得ることができる。

【0081】なお、この第5の実施の形態においては3重量子井戸層を用いたが、3重重量子井戸層に代えて單一量子井戸層、2重重量子井戸層、4重以上の量子井戸層またはパルク活性層を用いても同様の効果が得られる。

【0082】なお、この第5の実施の形態において、電流プロック層25として発振波長の光のエネルギーより大きなバンドギャップを有する半導体を用い、かつ $3 \times 10^{-5} \leq \Delta n \leq 8 \times 10^{-3}$ であれば、第1のクラッド層22、第2のクラッド層24、第3のクラッド層27または電流プロック層25にはGaNやAlN等、AlやGaの一方向しか含まない半導体を用いてもよい。

【0083】なお、この第5の実施の形態において、電流プロック層25として発振波長の光のエネルギーより大きなバンドギャップを有する半導体を用い、かつ $3 \times 10^{-5} \leq \Delta n \leq 8 \times 10^{-3}$ であれば、第1のクラッド層22、第2のクラッド層24、第3のクラッド層または電流プロック層25を多層構造にしてもよい。例えば、第1のクラッド層22がn-GaN基板16側から厚さ0.5μmのn-Al_xG_{1-x}N層と厚さ60nmのn-GaN層とを順次積層して形成され、第2のクラッド層24がn-GaN基板16側から厚さ60nmのp-GaN層と厚さ0.13μmのp-Al_xG_{1-x}N層とを順次積層して形成されることで、分離光閉じ込め構造とし、活性層23に垂直な方向の光閉じ込め率を向上させることができる。

【0084】なお、この第5の実施の形態において、量子井戸層のすべてに砒素を添加しているが、少なくとも1層に砒素を添加すれば、半導体レーザ装置の特性を改善することができる。ただし、望ましくは量子井戸層の少なくとも障壁層のすべてに砒素を添加するのがよく、さらに望ましくは、量子井戸層のすべてに砒素を添加するのがよい。

【0085】なお、この第5の実施の形態において、活性層23にAl、Ga、Inのいずれか1つまたは2つを含まない混晶、例えばG_{a_x}I_{n_{1-x}}N_{0_{2-x}}A_{s_{0.1}}やGaN_{0.9}A_{s_{0.1}}を用いてもよく、Al、Ga、Inの組成比を制御して、GaN基板と格子定数を一致させてよい。

【0086】なお、この第5の実施の形態において、砒素の代わりに磷またはアンチモンを用いてもよいし、砒素、磷およびアンチモンのうちいずれか2つ以上を用いてよい。

【0087】なお、この第5の実施の形態において、導電型をすべて反転させてもよい。

【0088】なお、電流プロック層25として高抵抗の半導体層、例えばアンドープAl_xG_{1-x}Nよりなる層を用いてもよい。

【0089】(実施の形態6)図11は、本発明の第6の実施の形態における青色発光ダイオード装置の断面図である。

【0090】この構造は、n-GaN基板16の上に厚さ1μmのn-GaN層17、厚さ0.5μmのn-Al_xG_{1-x}Nよりなる第1のクラッド層22、厚さ10nmのアンドープAl_xG_{1-x}I_{n_{1-x}}N_{0_{2-x}}A_{s_{0.1}}よりなる活性層28、厚さ10nmのアンドープAl_xG_{1-x}I_{n_{1-x}}N_{0_{2-x}}A_{s_{0.1}}よりなる障壁層29、厚さ0.5μmのp-Al_xG_{1-x}Nよりなる第2のクラッド層30、厚さ0.1μmのp-GaNよりなるコンタクト層21が順次形成されたものである(以下この青色発光ダイオード装置をサンプルAという)。

【0091】この構造により、活性層28と第2のクラッド層30との間に活性層28よりバンドギャップの大きな障壁層29を用いているので、活性層28から第2のクラッド層30へのキャリアの拡散を抑制することができ、青色発光ダイオード装置の発光効率を向上させることができる。特に障壁層29としてAl_xG_{1-x}I_{n_{1-x}}N_{0_{2-x}}A_{s_{0.1}}を用いているので、青色発光ダイオード装置の発光効率をより向上させることができる。

【0092】図12は、サンプルA、障壁層29のAl_xG_{1-x}I_{n_{1-x}}N_{0_{2-x}}A_{s_{0.1}}に代えて厚さ10nmのAl_xG_{1-x}I_{n_{1-x}}N_{0_{2-x}}を用いた場合(サンプルB)および障壁層29がない場合(サンプルC)の、青色発光ダイオード装置の発光効率を比較した図である。なお、図12中の白丸は、それぞれのサンプルに対する発光効率の測定結果を表す。

【0093】図12より、活性層28の第2のクラッド層30側に、第2のクラッド層30よりバンドギャップの大きな障壁層29を用いることにより発光効率が増大し、Asを含むAl_xG_{1-x}I_{n_{1-x}}N_{0_{2-x}}A_{s_{0.1}}層とすることによりさらに発光効率が増大することわかった。

【0094】なお、この第6の実施の形態において、障壁層29に含まれる砒素を代えて磷またはアンチモンを用いてもよい。また、砒素、磷およびアンチモンのうちからいずれか2つ以上を用いてもよい。

【0095】また、この第6の実施の形態において、障壁層29として、p型の導電性を有する層、例えばp-Al_xG_{1-x}I_{n_{1-x}}N_{0_{2-x}}A_{s_{0.1}}よりなる層を用いても同様の効果が得られる。

【0096】さらに、この第6の実施の形態において、導電性が基板を含めて逆にしたような場合、すなわちp-GaN基板の上に順次形成された厚さ0.5μmのp-Al_xG_{1-x}Nよりなる第1のクラッド層および厚さ10nmのアンドープAl_xG_{1-x}I_{n_{1-x}}N_{0_{2-x}}A_{s_{0.1}}よりなる活性層の間に、厚さ10nmのア

ンドープ A_{1-x}Ga_xIn_{1-y}N_yA_z,_zよりなる障壁層を挿入した場合においても同様の効果が得られる。また、以上に示した障壁層は図6に示した第5の実施の形態においても利用できる。

【0097】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の半導体装置は、半導体層としてホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムからなる群より選ばれた1つ以上の元素と、焼、磁素およびアンチモンからなる群より選ばれた1つ以上の元素と、窒素とからなり、かつ焼、磁素およびアンチモンの原子数の総和を窒素の原子数よりも小さくした化合物を用いることにより、半導体層中の窒素ベーカンシングはほとんどなくすことができて信頼性の向上が可能となったものになる。

【0098】また、本発明の半導体装置は、ダブルヘテロ構造を構成する活性層として、ホウ素、アルミニウム、ガリウムおよびインジウムからなる群より選ばれた1つ以上の元素と、焼、磁素およびアンチモンからなる群より選ばれた1つ以上の元素と、窒素とからなり、かつ焼、磁素およびアンチモンの原子数の総和を窒素の原子数よりも小さくした化合物を用いることにより、活性層中の窒素ベーカンシングを減少させると同時に活性層中のビエゾ効果を緩和させることができ、発光効率等の特性を向上させることができて信頼性の向上が可能となったものになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態における半導体装置の断面図

【図2】同第2の実施の形態における半導体レーザ装置の断面図

【図3】同第2の実施の形態における半導体レーザ装置の製造工程を示す断面図

【図4】同第3の実施の形態における青色発光ダイオード装置の断面図

【図5】同青色発光ダイオード装置に関する、活性層に*

*における硅素の組成比zと発光効率との関係を示す図

【図6】同第5の実施の形態における半導体レーザ装置の断面図

【図7】同第5の実施の形態における半導体レーザ装置および従来の半導体レーザ装置の電流-光出力特性を比較して示した図

【図8】同第5の実施の形態における半導体レーザ装置の光出力と非点隔差との関係を示した図

【図9】同第5の実施の形態における半導体レーザ装置に関する△nと非点隔差との関係を示した図

【図10】同第5の実施の形態における半導体レーザ装置に関する第2のクラッド層の膜厚をバラメータにしてストライプ領域の窓の幅を変化させたときの開値電流の変化を示す図

【図11】同第6の実施の形態における発光ダイオードの断面図

【図12】同第6の実施の形態における青色発光ダイオード装置に関する障壁層の条件による発光効率の違いを比較して示した図

20 【図13】従来の半導体装置の断面図

【符号の説明】

7 基板

8 半導体層

9 サファイア基板

10 バッファ層

11、15、21 コンタクト層

12、18、22 第1のクラッド層

13、19、23、28 活性層

14、20、24、30 第2のクラッド層

30 16 n-GaN基板

17 n-GaN層

25 電流ブロック層

26 窓

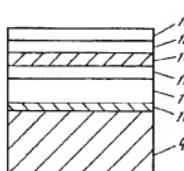
27 第3のクラッド層

29 障壁層

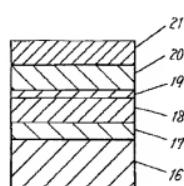
【図1】



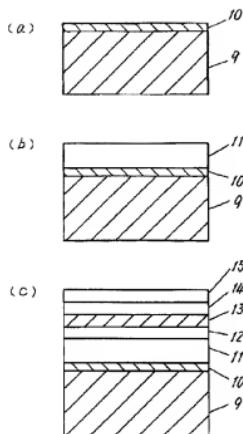
【図2】



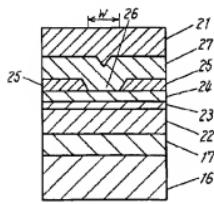
【図4】



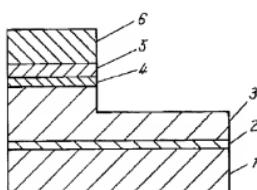
【図3】



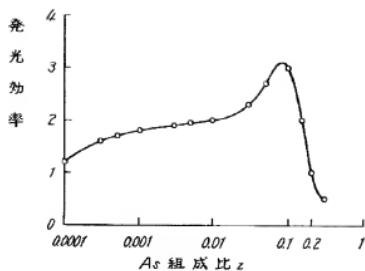
【図6】



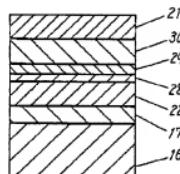
【図13】



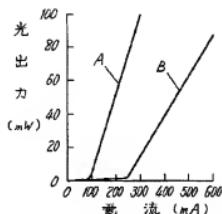
【図5】



【図11】

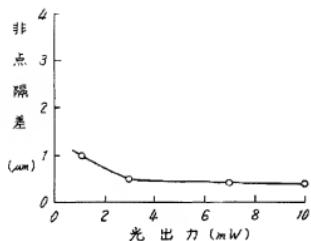


【図7】

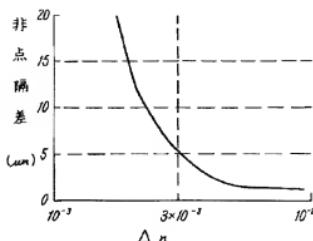


【図13】

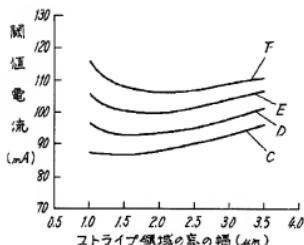
【図8】



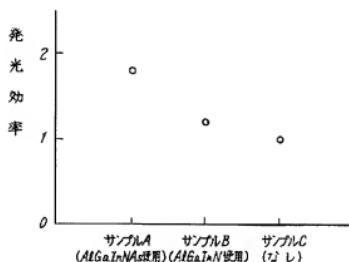
【図9】



【図10】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 油利 正昭
大阪府高槻市幸町1番1号 松下電子工業
株式会社内

(72)発明者 伊藤 国雄
大阪府高槻市幸町1番1号 松下電子工業
株式会社内

Japanese Unexamined Patent Application Publication No.
2000-31537

SPECIFICATION <EXCERPT>

[0042] (Second Embodiment)

FIG. 2 is a sectional view of a semiconductor laser device in the second embodiment of the present invention.

[0043] In this structure, a buffer layer 10 of GaN(As) and a contact layer 11 of n-GaN(As) are formed on a sapphire substrate 9, a first cladding layer 12 of Si-doped n-Ga_{0.9}Al_{0.1}N(As), an active layer 13 of a quantum well structure of undoped In_{0.2}Ga_{0.8}N(As) / In_{0.01}Ga_{0.99}N(As), and a second cladding layer 14 of Mg-doped p-Ga_{0.9}Al_{0.1}N(As) are laminated on the contact layer 11, and a contact layer 15 of Mg-doped p-GaN(As) is formed on the second cladding layer 14. Here, regarding nitrogen and arsenic contained in the compounds forming the buffer layer 10, the contact layer 11, the n-type first cladding layer 12, the active layer 13, the p-type second cladding layer 14, and the contact layer 15, the amount of nitrogen is larger than the amount of arsenic.

[0044] According to this structure, arsenic is contained in the n-type first cladding layer 12, the active layer 13, the p-type second cladding layer 14, and the contact layer 15. Since arsenic has a lower equilibrium vapor pressure than nitrogen in the same temperature, nitrogen vacancies existing in these semiconductor layers can be filled with arsenic. This makes it possible to almost completely eliminate a deep level in the n-type first cladding layer 12 and the p-type second cladding layer 14, and obtain a semiconductor laser device having the active layer 13 with almost no nitrogen vacancies. Hence, a highly-efficient and highly-reliable semiconductor device can be obtained.

[0045] Note that the same effects can be achieved even when at least one of the buffer layer 10, the contact layer 11, the n-type first cladding layer 12, the active layer 13, the p-type second cladding layer 14, and the contact layer 15 contains phosphorus or antimony instead of arsenic, or contains two or more elements out of phosphorus, arsenic, and antimony.

[0046] Moreover, the same effects can be achieved even when one or more elements out of boron, aluminum, gallium, and indium are contained in at least one of the buffer layer 10, the contact layer 11, the n-type first cladding layer 12, the active layer 13, the p-type second cladding layer 14, and the contact layer 15.

[0047] A manufacturing method of this semiconductor laser device is described below, with reference to FIG. 3. First, the buffer layer 10 of n-GaN(As) is formed on the sapphire substrate 9 according to a metalorganic chemical vapor deposition (MOCVD) method, using trimethylgallium, trimethylaluminum, trimethylindium, ammonia, and arsine (AsH_3) as raw materials for growth ((a) in FIG. 3).

[0048] Next, as the contact layer 11, n-GaN(As) is crystal-grown to a thickness of 1 μm at a crystal growth temperature (hereafter referred to as a growth temperature) of 1000°C. An additive amount of arsenic at this time can be set to about 10^{15} cm^{-3} , since nitrogen vacancies when the growth temperature is 1000°C are about 10^{15} cm^{-3} ((b) in FIG. 3).

[0049] After this, the first cladding layer 12 of Si-doped n- $\text{Ga}_{0.9}\text{Al}_{0.1}\text{N(As)}$ is grown to a thickness of 0.5 μm , at the growth temperature of 1000°C. The growth temperature is then decreased to 800°C, and the active layer 13 of the quantum well structure (triple quantum well structure with a thickness of each layer being set at 5 nm) of undoped In_{0.2}Ga_{0.8}N(As) / In_{0.01}Ga_{0.99}N(As) as the active layer 13 is grown. The growth temperature is then increased to 1000°C again, and the second cladding layer 14 of Mg-doped

p-Ga_{0.9}Al_{0.1}N(As) is grown to a thickness of 0.5 μm.

[0050] Lastly, the contact layer 15 of Mg-doped p-GaN(As) is grown to a thickness of 0.1 μm, as a result of which the semiconductor laser device is completed ((c) in FIG. 3).

[0051] Note that, since nitrogen vacancy densities of GaN at the growth temperatures of 600°C, 800°C, and 1000°C are respectively about 10¹⁹ cm⁻³, about 10¹⁷ cm⁻³, and about 10¹⁵ cm⁻³, nitrogen vacancies can be filled by adding the amounts of arsenic corresponding to these densities.

[0052] The above first and second embodiments describe that a highly-efficient and highly-reliable semiconductor device or semiconductor laser device can be obtained by using a layer made of GaN(As) with almost no nitrogen vacancies in the semiconductor device or semiconductor laser device. This layer made of GaN(As) with almost no nitrogen vacancies can be used as a layer constituting a transistor. In such a case, transistor characteristics in a high frequency region can be improved, so that a highly-efficient and highly-reliable transistor can be obtained.